

**С. Ф. ЧАЛИЙ, В. О. ЛЕЩИНСЬКИЙ, І. О. ЛЕЩИНСЬКА**

## **МОДЕЛЬ ПОЯСНЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ УЗГОДЖЕНОСТИ ЗНАНЬ**

Предметом дослідження є процеси побудови пояснень щодо отриманих результатів в інтелектуальних інформаційних системах. Пояснення роблять прозорим процес створення результатуючої рекомендації, формують умови для створення користувачем причинно-наслідкових зв'язків між результатом виводу та поточними задачами, для вирішення яких була використана інтелектуальна система. Мета полягає в розробці моделі пояснення в інтелектуальній системі з можливістю забезпечити узгоджене з результатами роботи такої системи витлумачення з урахуванням контекстно-орієнтованих вимог щодо потреб користувачів. Для досягнення поставленої мети вирішуються задачі визначення вимог до пояснення щодо результатів роботи інформаційної системи, та розробки моделі пояснення на базі принципів узгодження знань з тим, щоб отримати рекомендації на основі відповідності фактів, гіпотез, результатів. Показано, що при узгодженні інтересів користувача та можливостей інтелектуальної системи необхідно визначити деталізацію знань з урахуванням інтервалу актуальності даних та знань, а також фінансових та технічних та інших особливостей використання отриманих результатів. Запропоновано модель пояснення в інтелектуальній системі на базі узгодження знань та даних. Модель містить множини узгоджених фактів, гіпотез та результатів. Узгодження виконується для гіпотез, які є підмножинами інших гіпотез, на основі пояснень гіпотез через факти та інші гіпотези, а також на базі відповідності між собою отриманих результатів та гіпотез. Моделі дає можливість обмежити використання неявних та неточних знань в рамках виводу лише їх узгодження підмножиною. У практичному плані використання моделі орієнтовно на побудову пояснень згідно ступеню абстракції, рівня деталізації опису предметної області, а також з урахуванням вибраного аспекту витлумачення отриманої рекомендації. В цілому формування пояснень на основі узгодження знань підвищує довіру користувачів та створює умови для ефективного використання отриманих рекомендацій.

**Ключові слова:** знання; узгодженість знань; інтелектуальна система; рекомендації; пояснення, вимоги до пояснення.

**С. Ф. ЧАЛЫЙ, В. А. ЛЕЩИНСКИЙ, И. А. ЛЕЩИНСКАЯ**

## **МОДЕЛЬ ОБЪЯСНЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ СОГЛАСОВАННОСТИ ЗНАНИЙ**

Предметом исследования являются процессы построения объяснений полученных результатов в интеллектуальных информационных системах. Пояснения делают прозрачным процесс создания результирующей рекомендации, формируют условия для создания пользователем причинно-следственных связей между результатом вывода и текущими задачами, для решения которых была использована интеллектуальная система. Цель заключается в разработке модели объяснения в интеллектуальной системе с возможностью обеспечить согласованное с результатами работы такой системы толкование с учетом контекстно-ориентированных требований относительно потребностей пользователей. Для достижения поставленной цели решаются задачи определения требований к объяснению относительно результатов работы информационной системы, а также разработки модели объяснения на базе принципов согласования знаний с тем, чтобы получить рекомендации на основе соответствия фактов, гипотез, результатов. Показано, что при согласовании интересов пользователя и возможностей интеллектуальной системы необходимо провести детализацию знаний с учетом интервала актуальности данных и знаний, а также финансовых и технических и других особенностей использования полученных результатов. Предложена модель объяснения в интеллектуальной системе на базе согласования знаний и данных. Модель содержит множества согласованных фактов, гипотез и результатов. Согласование выполняется для гипотез, которые являются подмножествами других гипотез, на основе объяснений гипотез через факты и другие гипотезы, а также на базе соответствия между собой полученных результатов и гипотез. Модель дает возможность ограничить использование неявных и неточных знаний в рамках вывода только их согласованным подмножеством. В практическом плане использования модели ориентировочно на построение объяснений с учетом уровня абстракции, степени детализации описания предметной области, а также с учетом выбранного аспекта толкования полученной рекомендации. В целом формирование объяснений на основе согласования знаний повышает доверие пользователей и создает условия для эффективного использования полученных рекомендаций.

**Ключевые слова:** знания; согласованность знаний; интеллектуальная система; рекомендации; объяснения, требования к объяснению.

**S. CHALYI, V. LESHCHYNSKYI, I. LESHCHYNSKA**

## **EXPLANATION MODEL IN AN INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM BASED ON THE CONCEPT OF KNOWLEDGE COHERENCE**

The subject of the research is the processes of constructing explanations of the results obtained in intelligent information systems. Explanations make transparent the process of creating the resulting recommendation, create the conditions for the user to create causal links between the result of the conclusion and the current problems for which the intelligent system was used. The aim is to develop an explanation model in an intelligent system with the ability to provide a consistent interpretation with the results of such a system, taking into account context-oriented requirements for user needs. To achieve this goal, the tasks of defining the requirements for explanation of the results of the information system, as well as developing a model of explanation based on the principles of knowledge coordination in order to obtain recommendations based on the facts, hypotheses, results. It is shown that when coordinating the interests of the user and the capabilities of the intelligent system, it is necessary to detail the knowledge taking into account the range of relevance of data and knowledge, as well as financial and technical and other features of the results. A model of explanation in an intelligent system based on the coordination of knowledge and data is proposed. The model contains many agreed facts, hypotheses and results. Reconciliation is performed for hypotheses that are subsets of other hypotheses, based on explanations of hypotheses through facts and other hypotheses, as well as on the basis of the correspondence between the obtained results and hypotheses. The model makes it possible to limit the use of implicit and inaccurate knowledge in the output only to their agreed subset. In practical terms, the use of the model is focused on constructing explanations taking into account the level of abstraction, the degree of detail of the description of the subject area, as well as taking into account the selected aspect of interpretation of the received recommendation. In general, the formation of explanations based on the harmonization of knowledge increases user confidence and creates conditions for the effective use of the received recommendations.

**Keywords:** knowledge; coherence of knowledge; intelligent system; recommendations; explanations, requirements for explanations.

**Вступ.** Інтелектуальні інформаційні системи орієнтовані на виявлення, структурування та використання знань при вирішенні неструктурованих та частково структурованих проблем. Важливість застосування пояснень в таких інформаційних системах пов'язана із тим, що вони використовують комбінацію явних та неявних знань, а також формальних підходів та евристик для отримання потрібного користувачеві результату. Формальні підходи використовують знання про предметну область, які можуть бути застарілими, неповними, тощо. Евристичні методи зазвичай базуються на використанні неявних, отриманих з практики, знань і, відповідно, не завжди дають релевантний результат. Тому використані знання-орієнтовані підходи не завжди можуть дати точний результат та у загальному випадку не є «прозорими» для користувача такої системи. Тому пояснення, які роблять явним процес отримання результату в інтелектуальній інформаційній системі, підвищують довіру користувачів, а також ефективність використання цих результатів. Слід також зазначити, що у випадку невідповідності знань про предметну область, що були використані у інтелектуальній системі, пояснення дає можливість користувачеві не враховувати отриманий у процесі виводу результат.

Наприклад, пояснення в рекомендаційній системі може розкривати користувачеві відповідність між його потребами та рекомендованими товарами. В результаті в умовах широкого спектру товарів спрощується вибір потрібного об'єкту, значно скорочується час, що витрачає користувач на пошук товарів та послуг згідно зі своїми інтересами. При використанні пояснень підвищується задоволеність споживача та в подальшому збільшується кількість користувачів відповідної системи електронної комерції, підвищується ефективності її роботи.

В цілому пояснення забезпечують користувача інформацією та знаннями, що обґрунтовують результати виводу в інтелектуальній інформаційній системі. Пояснення має сформулювати для користувача причинно-наслідкові зв'язки між рекомендацією інтелектуальної системи та його поточними задачами, для вирішення яких була використана дана система.

Таким чином, актуальною є проблема формалізації пояснень з урахуванням особливостей знань, які були використані в інтелектуальній інформаційній системі, що дає можливість підвищити довіру користувачів до отриманих результатів та, на цій базі, удосконалити процес функціонування системи в цілому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Базові підходи до представлення пояснень в інтелектуальних системах базуються на описі витлумачень в експертних системах, а також системах з використанням прецедентів [1]. Використання знань для побудови пояснень розглядалось в роботі [2]. Автоматизація виявлення знань для побудови пояснень на прикладі рекомендаційних систем була досліджена в роботах [3–5]. Знання для пояснень виявляються на базі аналізу інформації від користувачів, наприклад рейтингів в рекомендаційних системах [3]. Також при формуванні

знань використовується інформація про зміни стану предметної області в часі [4, 5]. Такі зміни відображаються за допомогою спеціалізованих правил [6, 7] з тим, щоб ці пояснення були переконливими для споживачів. В роботі [8] запропоновано будувати інтерфейс пояснення на базі виявлення типових потреб користувачів.

В цілому дані роботи приділяють увагу окремим аспектами представлення знань та інтерфейсу пояснення, без урахування узгодженості цих знань.

В роботах [9–11] було запропоновано базові принципи узгодженості знань для формування пояснення. Такий підхід дає можливість виділити підмножину знань, що будуть використані для побудови пояснення. Однак він не враховує ряд факторів, які пов'язані із вимогами до витлумачень [12, 13] та впливають на доступність та переконливість пояснення для користувача:

- представлення в прозорій формі механізму функціонування інтелектуальної системи;
- відображення зв'язку пояснення із потребами користувача;
- врахування змін потреб користувача.

Зазначені недоліки свідчать про важливість побудови інтегральної моделі пояснення на принципах узгодження знань з урахуванням статичних та динамічних характеристик роботи інтелектуальної системи, а також вимог та потреб користувача такої системи.

**Метою цієї статті** є розробка моделі пояснення в інтелектуальній системі, яка б забезпечувала узгоджене з результатами роботи такої системи витлумачення з урахуванням контексту потреб користувачів.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

- структуризація вимог до пояснення щодо результатів роботи інтелектуальної інформаційної системи;
- розробка моделі пояснення на основі принципів узгодження знань.

**Модель пояснення в інтелектуальній системі на основі концепції узгодження знань.**

Визначимо базові вимоги до пояснень в аспекті «прозорості» внутрішньої структури інтелектуальної інформаційної системи.

По-перше, пояснення має коректно відображати порядок функціонування інтелектуальної системи, без пропуску ключових дій та процедур. Згідно даної вимоги, при формуванні пояснень необхідно враховувати всі знання, які були використані інтелектуальною системою для отримання результату. Пропуск підмножини кроків (та відповідної підмножини знань) знижує довіру користувача до такої системи. У випадку незначущості щодо знань, що використовуються, при побудові пояснень доцільно використовувати ймовірнісні підходи. Визначення ймовірностей для окремих процедур або знань про опис предметної області може бути виконано згідно підходів, запропонованих в роботах [6, 7].

По-друге, форма представлення пояснень має бути зрозумілою для користувача інтелектуальної

системи. Зрозумілість пояснення залежить від контексту виводу та пояснення в інтелектуальній системі, а також контексту використання цієї системи споживачем.

Явне представлення контексту роботи інтелектуальної системи визначається рівнем абстракції, деталізації, а також набором аспектів, згідно яких може бути представлена послідовність отримання результату.

Рівень абстракції визначається набором понять, які використовуються при побудові пояснення. Наприклад, пояснення в рекомендаційній системі може бути представлено на рівні характеристик вибраного предмету, з урахуванням рейтингів та покупок цього товару, тощо.

Рівень деталізації визначає об'єм пояснень та частку характеристик та деталей «за замовчуванням» при формуванні пояснення. Наприклад, при формуванні пояснень в рекомендаційній системі можуть бути враховані помісячні, щотижневі, щоденні зміни продажів вибраного товару або послуги.

Множина аспектів визначає «зрізи» роботи інтелектуальної системи. Так, пояснення може враховувати фінансовий, часовий, технічний та інші аспекти. При формуванні пояснення у фінансовому аспекті розглядається в першу чергу фінансовий вигаш користувача у випадку використання отриманої від інтелектуальної системи рекомендації. Наприклад, фінансові переваги від вибору запропонованого рекомендаційною системою товару або послуги.

Пояснення у часовому аспекті враховує актуальність використання результату роботи інтелектуальної системи для вибраного періоду часу. Так, рішення-прототипи для системи на основі прецедентів можуть бути реалізуємими, але застарілими. Відповідно, такі рішення мають обмежений інтервал використання у часі.

Пояснення у технічному (біологічному, тощо) аспекті визначає переваги від використання запропонованих інтелектуальною системою пропозицій у визначеній предметній області. Так, пояснення щодо вибору пристрою в рекомендаційній системі може містити інформацію про його технічні переваги над конкуруючими товарами.

Представлення контексту використання результатів роботи інтелектуальної системи користувачем зазвичай використовує інформацію про цілі, переваги та обмеження користувача. Тому визначення контексту користувача є ітеративною процедурою і потребує зворотного зв'язку для покрокового уточнення пояснень.

По-третє, пояснення мають враховувати функціональність інтелектуальної системи в цілому, призначення об'єктів, з якими оперує така система, а також базові відношення між об'єктами у предметній області.

Набір функцій інтелектуальної системи визначає її поведінку, послідовність її роботи. Тому аналіз журналу подій системи з використанням знань про її функції дає можливість показати послідовність

прийняття рішень і, тим самим, підвищити довіру користувача.

Знання, що використовуються для прийняття рішень в інтелектуальній системі, враховують призначення об'єктів, щодо яких виконується вивід. Такі знання дають можливість визначити рівні абстракції та деталізації у контексті виводу в інтелектуальній системі і підвищити точність пояснення.

Знання про відношення між об'єктами в предметній області визначають особливості застосування отриманих в інтелектуальній системі результатів. Відповідно, такі знання дають можливість деталізувати фінансовий, часовий, технічний та інші аспекти пояснення з метою визначити ключові для користувача характеристики отриманого рішення.

Для задоволення наведених вимог пропонується використати принципи [10] узгодження знань для пояснення. Концепція узгодження знань полягає у тому, що для реалізації виводу у предметній області необхідно використовувати не просто несуперечні з позицій логіки знання, а лише узгоджені факти, правила, гіпотези. Схему узгодження знань згідно представлених вимог наведено на рис. 1.



Рис. 2. Схема узгодження знань згідно вимог до пояснень

Фактично концепція узгодженості знань дає можливість використати для отримання результату в інтелектуальній системі набір гіпотез зі схожою семантикою. Наприклад, при формуванні пояснення для рекомендаційної системи узгодження означає, що

форма представлення пояснень з одного боку має відповідати інтересам користувача, а з іншого – відображати механізм формування рекомендацій. При узгодженні інтересів користувача та можливостей системи необхідно задати деталізацію з визначенням інтервалу актуальних знань, фінансових та технічних характеристик рекомендованого об'єкту, а також контексту його використання. Послідовність подання інформації у поясненні може бути визначена з урахуванням послідовності побудови рекомендацій.

Модель пояснення, згідно представленої на рис. 1 схеми, має реалізувати принципи узгодження знань по технічному, часовому, фінансовому та іншим аспектам пояснення з урахуванням ступеню абстракції та ступеню деталізації.

В моделі враховуються такі характеристики узгоджених знань:

- відповідність вхідних даних та знань щодо поточних властивостей предметної області;
- відповідність гіпотез;
- прийнятність результатів.

При відборі в вхідних фактів для виводу результатів необхідно враховувати їх узгодженість, в сенсі відповідності поставленій задачі. Узгодженість знань будемо позначати знаком « $\sim$ ». Ідея підходу полягає в тому, щоб визначити базові факти й гіпотези та узгодити з ними всі інші знання, що необхідні для вирішення поточної задачі. Узгодженість для пар фактів  $s_i, s_j$ , що задають статичний опис предметної області, має вигляд:

$$(s_i \sim s_j) \equiv (s_i \sim s_j), s_i, s_j \in S. \quad (1)$$

Згідно (1), для формування підмножини узгоджених вхідних фактів достатньо їх попарної узгодженості. Таке визначення дає можливість об'єднувати узгоджені факти з різних аспектів контексту функціонування та використання результатів роботи інтелектуальної системи, а також змінювати рівень деталізації або використовувати додаткові абстракції.

Якщо гіпотеза  $g_m$  виступає в якості пояснення для факту  $s_i$ , тобто  $g_m = \text{expl}(s_i)$ , то узгоджена гіпотеза  $g_n$  може виступати в якості пояснення для узгодженого факту  $s_j$ :

$$(g_m = \text{expl}(s_i)) \wedge (s_i \sim s_j) \Rightarrow \exists g_n: (g_m \sim g_n) \wedge (g_n = \text{expl}(s_j)). \quad (2)$$

Гіпотези  $g_m, g_n \in G$  узгоджені в тому випадку, якщо одна гіпотеза є частиною іншої:

$$g_m \sim g_n \Rightarrow (g_n \subset g_m) \vee (g_m \subset g_n), g_m, g_n \in G. \quad (3)$$

Множина фактів  $S_i$  та гіпотез  $G_n$  узгоджується з іншою гіпотезою  $p$ , якщо остання є їх поясненням:

$$p = \text{expl}(S_i, G_n) \Rightarrow p \sim (S_i, G_n). \quad (4)$$

Прийнятність отриманого результату  $r_k$  при вирішенні задачі залежить від узгодженості цього результату із множиною інших результатів  $R$ , що були отримані при вирішенні цієї ж задачі. Тобто всі

результати із множини  $R$  мають бути узгодженими між собою та з гіпотезами, що були використані при їх отриманні:

$$\forall (r_k, r_l \in R) (r_k \sim r_l), \exists (g_m \sim r_k). \quad (5)$$

Модель пояснення  $E$  з узгодженням знань має вигляд:

$$E = \{S, G, R: \forall s_i \in S \exists s_j: (s_i \sim s_j), \forall g_m \in G \exists g_n: (g_m \sim g_n) \forall r_k \in R \exists r_l, g_m: (r_k \sim r_l), (g_m \sim r_k)\}. \quad (6)$$

Згідно (6) множина фактів, гіпотез, результатів має бути обмежена лише узгодженими елементами.

**Висновки.** Запропоновано модель пояснення в інтелектуальній системі на базі узгодження знань та даних. Модель містить факти, гіпотези та результати, які узгоджені між собою на основі поглинання гіпотез, пояснень гіпотез через факти та інші гіпотези, а також відповідності між собою отриманих результатів. Така структура моделі дає можливість обмежити використання неявних та неточних знань лише їх узгодженою підмножиною. Практичне використання моделі дозволяє будувати пояснення з урахуванням ступеню абстракції, рівня деталізації опису предметної області, а також вибраного аспекту розгляду отриманої рекомендації від інтелектуальної системи.

#### Список літератури

1. Cunningham P., Doyle D., Loughrey J. An evaluation of the usefulness of case-based reasoning explanation. *Proceedings of the International Conference on Case-Based Reasoning. ICCBR 2003*. Trondheim, Springer, 2003. P. 122–130.
2. Swartout W., Moore J. Explanation in Second Generation Expert Systems. *Second Generation Expert Systems*. 1993. P. 543–585.
3. Cleger S., Fernandez-Luna J., F Huete J. Learning from explanations in recommender systems. *Information Sciences*. 2014. Vol. 287. P. 90–108.
4. Chalyi S., Leshchynskyi V., Leshchynska I. Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. Vol. 4. P. 34–40.
5. Чалий С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. Моделювання пояснень щодо рекомендованого переліку об'єктів з урахуванням темпорального аспекту вибору користувача. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Том 6 № 58. С. 97–101.
6. Levykin V., Chala O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018. Vol. 5. P. 3–10.
7. Levykin V., Chala O. Development of a method for the probabilistic inference of sequences of a business process activities to support the business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5/3(95). P. 16–24.
8. Daher J., Brun A., Boyer A. A. A review on explanations in recommender systems. *Technical Report*. LORIA Université de Lorraine, 2017. 26 p. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01836639/document> (accessed: 18.05.2020).
9. Thagard P., Verbeurgt K. Coherence as constraint satisfaction. *Cognitive Science*. 1998. Vol. 22. P. 1–24.
10. Thagard P. Coherence, truth, and the development of scientific knowledge. *Philosophy of Science*. 2007. Vol. 74. P. 28–47.
11. Thagard P. Causal inference in legal decision making: Explanatory coherence vs. Bayesian networks. *Applied Artificial Intelligence*. 2004. Vol. 18. P. 231–249.
12. Tintarev N., Masthoff J. A survey of explanations in recommender systems. *3rd international workshop on web personalisation*,

recommender systems and intelligent user interfaces (WPRSIU'07). 2007. P. 801–810. URL: <https://abdn.pure.elsevier.com/en/publications/a-survey-of-explanations-in-recommender-systems> (accessed: 17.05.2020).

13. Tintarev N., Masthoff J. Designing and Evaluating Explanations for Recommender Systems. *Recommender Systems Handbook*. 2010. P. 479–510.

#### References (transliterated)

1. Cunningham P., Doyle D., Loughrey J. An evaluation of the usefulness of case-based reasoning explanation. *Proceedings of the International Conference on Case-Based Reasoning. ICCBR 2003*. Trondheim, Springer, 2003, pp. 122–130.
2. Swartout W., Moore J. Explanation in Second Generation Expert Systems. *Second Generation Expert Systems*. 1993, pp. 543–585.
3. Cleger S., Fernández-Luna J., F Huete J. Learning from explanations in recommender systems. *Information Sciences*. 2014, vol. 287, pp. 90–108.
4. Chalyi S., Leshchynskyi V., Leshchynska I. Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019, vol. 4, pp. 34–40.
5. Chalyi S. F., Leshchynskyi V. O., Leshchynska I. O. Modelyuvannya poyasnen shodo rekomendovanogo pereliku ob'ektiv z urahuvannam temporalnogo aspektu viboru koristuvacha [Modeling explanations for the recommended list of items based on the temporal dimension of user choice]. *Sistemi upravlinnya, navigatsiyi ta zv'yazku* [Control, Navigation and Communication Systems]. 2019, vol. 6, no. 58, pp. 97–101.
6. Levykin V., Chala O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018, vol. 5, pp. 3–10.
7. Levykin V., Chala O. Development of a method for the probabilistic inference of sequences of a business process activities to support the business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, vol. 5/3(95), pp. 16–24.
8. Daher J., Brun A., Boyer A. A. A review on explanations in recommender systems. *Technical Report*. LORIA Université de Lorraine, 2017. 26 p. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01836639/document> (accessed: 18.05.2020).
9. Thagard P., Verbeurgt K. Coherence as constraint satisfaction. *Cognitive Science*. 1998, vol. 22, pp. 1–24.
10. Thagard P. Coherence, truth, and the development of scientific knowledge. *Philosophy of Science*. 2007, vol. 74, pp. 28–47.
11. Thagard P. Causal inference in legal decision making: Explanatory coherence vs. Bayesian networks. *Applied Artificial Intelligence*. 2004, vol. 18, pp. 231–249.
12. Tintarev N., Masthoff J. A survey of explanations in recommender systems. *3rd international workshop on web personalisation, recommender systems and intelligent user interfaces (WPRSIU'07)*. 2007, pp. 801–810. URL: <https://abdn.pure.elsevier.com/en/publications/a-survey-of-explanations-in-recommender-systems> (accessed: 17.05.2020).
13. Tintarev N., Masthoff J. Designing and Evaluating Explanations for Recommender Systems. *Recommender Systems Handbook*. 2010, pp. 479–510.

Надійшло (received) 21.05.2020

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Чалий Сергій Федорович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: [serhii.chalyi@nure.ua](mailto:serhii.chalyi@nure.ua)

**Лециньський Володимир Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри програмної інженерії, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5702>; e-mail: [volodymyr.leshchynskyi@nure.ua](mailto:volodymyr.leshchynskyi@nure.ua)

**Лециньська Ірина Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри програмної інженерії, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>; e-mail: [iryna.leshchynska@nure.ua](mailto:iryna.leshchynska@nure.ua)

**Чалий Сергій Федорович** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры информационных управляющих систем, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: [serhii.chalyi@nure.ua](mailto:serhii.chalyi@nure.ua)

**Лециньский Владимир Александрович** – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры программной инженерии, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5702>; e-mail: [volodymyr.leshchynskyi@nure.ua](mailto:volodymyr.leshchynskyi@nure.ua)

**Лециньская Ирина Александровна** – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры программной инженерии, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>; e-mail: [iryna.leshchynska@nure.ua](mailto:iryna.leshchynska@nure.ua)

**Chalyi Serhii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Information Control Systems, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: [serhii.chalyi@nure.ua](mailto:serhii.chalyi@nure.ua)

**Leshchynskyi Volodymyr Oleksandrovich** – PhD, Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5702>; e-mail: [volodymyr.leshchynskyi@nure.ua](mailto:volodymyr.leshchynskyi@nure.ua)

**Leshchynska Irina Oleksandrivna** – PhD, Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>; e-mail: [iryna.leshchynska@nure.ua](mailto:iryna.leshchynska@nure.ua)